

Рис.3 Картины интерференции сингулярных пучков; *a, в* – рассчитанные, *б, г* – полученные экспериментально. Заряды равны по величине и знаку (*a – в*) и противоположены по знаку (*г – д*)

составляющей комплексной амплитуды. Так же видно, что при нескольких разведенных центрах вихрей (рис. 3, *б, д*) и равных по знаку топологических зарядах «вилки» направлены в различные стороны, и наоборот. При сведении винтовых дислокаций двух пучков, характерное разветвление полос указывает на величину заряда  $|l_1 - l_2|$ .

Таким образом, в ходе данной работы исследованы свойства полей с винтовыми дислокациями волнового фронта (оптические вихри). Проанализированы методы определения топологического заряда вихревых пучков с использованием их интерференции с плоской или сферической волнами. Методы адаптированы к реальным экспериментальным условиям. Теоретически и экспериментально изучены картины интерференции, возникающие при суперпозиции двух вихревых оптических пучков с различными топологическими зарядами. Показано, что при смещении центров пучков происходит изменение ориентации характерной вилки.

## ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЩНЫМИ ИОННЫМИ ПУЧКАМИ И КОМПРЕССИОННЫМИ ПЛАЗМЕННЫМИ ПОТОКАМИ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В WC-Ti-Co ТВЁРДОМ СПЛАВЕ

**М. В. Карабовский, А. К. Кулешов**

Существует большое число методов получения покрытий на рабочих поверхностях режущих инструментов. Перспективными методами повышения износостойкости металлообрабатывающего инструмента из твердых сплавов является импульсное воздействие высококонцентрированными источниками энергии – мощными ионными, электронными пучками, компрессионными плазменными пучками, лазерным лучом.

Возросший в последние десятилетия интерес к физическим свойствам и методам получения износостойких покрытий обусловил интенсивное развитие этой области исследования. Спеченные твердые сплавы для режущего инструмента представляют собой композиции, состоящие из твердых тугоплавких соединений в сочетании с более легкоплавкими и

пластичными металлами. Поэтому структура спеченных твердых сплавов гетерогенна: она состоит из частиц твердых соединений и участков цементирующего вещества. В связи с тем, что системы WC-Ti-Co обладают высокой износостойкостью, термической и коррозионной стабильностью, они представляют большой интерес для получения износостойких покрытий. В качестве исходного образца был выбран твердый сплав марки T15K6, т.к., твердые карбидные сплавы зарекомендовали себя эффективным материалом для режущего инструмента и нашли широкое применение в производстве.

Целью данной работы было исследование изменения структурно-фазового состояния и трибологических характеристик поверхностных слоев WC-TiC-Co твердого сплава после воздействия мощными ионными (МИП) и компрессионными плазменными пучками (КПП) с близкими плотностями выделенной энергии падающих пучков в одном импульсе и при увеличении плотности энергии воздействия КПП в несколько раз [1].

Воздействие КПП в газоразрядном магнитоплазменном компрессоре – МПК – компактной геометрии при начальном напряжении на конденсаторной батарее 4,5 кВ. Обработка проходила в режиме «остаточного газа», при котором предварительно откачанную вакуумную камеру МПК заполняли рабочим газом – азотом до давления 0,4 кПа. Расстояние между мишенью и катодом составляло 8 и 14 см. Длительность разряда составляла  $\sim 100$  мкс. Обработка образцов производилась пятью импульсами, для формирования однородного перемешанного слоя. Плотность поглощенной образцом энергии достигала  $\sim 13$  и  $30$  Дж/см<sup>2</sup> за импульс. Введем обозначения для образцов обработанных КПП при расстоянии от мишени до катода 8 см – КПП 8, при расстоянии 14 см – КПП 14.

Воздействие МИП производилось при энергии 320 кВ, плотность тока 80-100 А/см<sup>2</sup>, длительность импульса составляла 80 нс, плотность энергии 7 Дж/см<sup>2</sup>. Обработка поверхности твердых сплавов осуществлялась на источнике мощных ионных пучков «Темп». Пучок ионов генерировался полосковым фокусирующим магнито-изолированным диодом из предварительно созданной плазмы [2].

Упрочнение металлов и сплавов воздействием концентрированных потоков энергии основано на локальном нагреве поверхностного слоя, в том числе и выше температуры плавления и последующем охлаждении этого поверхностного слоя со сверхкритическими скоростями охлаждения (до  $\sim 10^7$  К/с). В результате таких воздействий на рабочей кромке инструмента может образовываться упрочненная зона с высокой плотностью дефектов, измененным фазовым составом, дисперсной структурой, что способствует повышению твердости и износостойкости модифицированного инструмента.

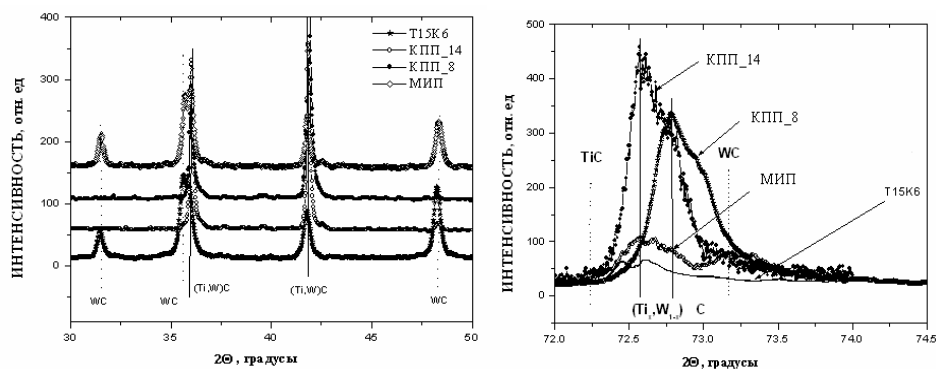


Рис.1 Рентгенограммы твердого сплава Т15К6

Таблица 1

**Параметр решетки твердого раствора  $(\text{Ti}_{1-x}\text{W}_x)\text{C}$  и относительная интенсивность  $W$  после МИП и КПП воздействия на твёрдый сплав Т15К6**

Образец	Исходный	МИП 7Дж/см <sup>2</sup>	Кпп_14 12Дж/см <sup>2</sup>	КПП-8 30Дж/см <sup>2</sup>
$a$ , Å	4,3324	4,3186	4,3107	4,304
Интенсивность на поверхности	0,56	0,66	0,71	0,75
Интенсивность по глубине			0,62	0,76

Анализ полученных рентгенограмм образцов сплава Т15К6 после МИП и КПП воздействия с разной плотностью энергии (рис.1) и сопоставление их с базами данных дифракционных спектров, литературных источников свидетельствует о формировании твердого раствора  $(\text{Ti},\text{W})\text{C}$ .

По данным рентгеноструктурного анализа был рассчитан параметр решётки твёрдого раствора  $(\text{Ti},\text{W})\text{C}$ . Данные представлены в таблице 1.

С помощью сканирующей электронной микроскопии было произведено исследование структурно-фазового состава поверхностного слоя (рис. 2) твёрдого сплава до и после воздействий.

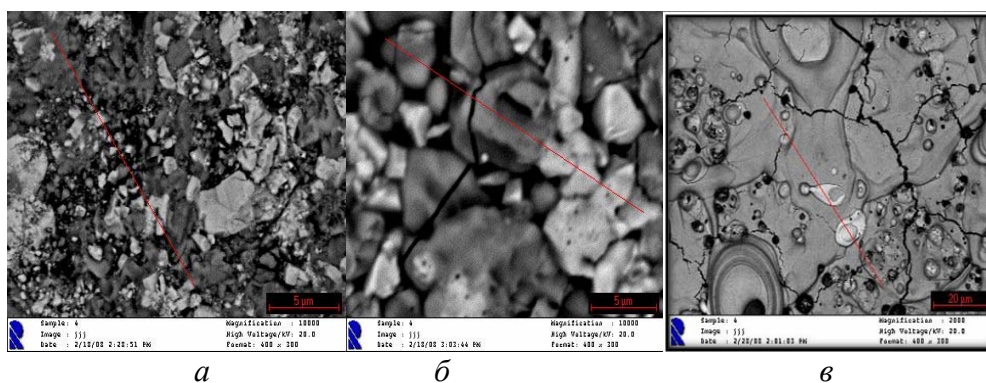


Рис. 2 Поверхность образца

а) исходного сплава Т15К6 б) после воздействия МИП в) после воздействия КПП

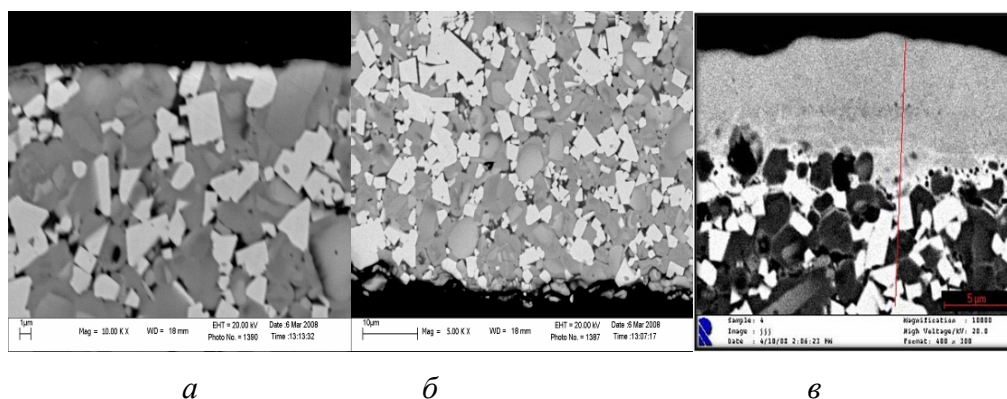


Рис. 3 Поперечный срез образца

а) исходного сплава Т15К6 б) после воздействия МИП в) после воздействия КПП

Из полученных с помощью электронной микроскопии данных следует, что МИП воздействие приводит к частичному сплавлению карбида вольфрама с твердым раствором на основе  $(\text{Ti}, \text{W})\text{C}$  в поверхностных слоях Т15К6. Образуются поры, и трещины микронных размеров КПП обработка практически полностью сплавляет карбид вольфрама с твердым раствором. Размер пор и трещин в поверхностном слое достигает десятков микрон.

Установлено, что с ростом плотности энергии воздействия МИП и КПП твердый сплав Т15К6:

1. Параметр решётки твердого сплава уменьшается от  $4,3186\text{\AA}$  до  $4,3040\text{\AA}$ , т.к. формируется пересыщенный вольфрамом твердый раствор  $(\text{WTi})\text{C}$ .

2. Толщина сплавленного слоя увеличивается от 1 до 10 мкм, а относительная атомная концентрация W в переплавленном твердом растворе увеличивается от 66% до 75%

3. Формируется слой объёмных дефектов: пор, трещин – при МИП воздействии толщиной 10 мкм. При КПП воздействии переходной слой толщиной 20 – 30 мкм. Характерной особенностью является увеличение относительной концентрации вольфрама на границах зёрен исходного твердого сплава.

### Литература

1. Асташинский В. М., Ананин С. И., Костюкевич Е. А. и др. Структура и механические свойства титана, обработанного компрессионными плазменными потоками // Proc. of the V symposium of Belarus, Serbia and Montenegro on physics and diagnostics of laboratory and astrophysical plasmas. Минск, 2004. С.171–174.
2. Ремнёв Г. Е. модифицирование твердых пластин на основе карбида вольфрама мощным импульсным ионным пучком, физика и химия обработки материалов 2004, №3, с. 11–17